



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Cálculo hidráulico de defensas ribereñas en el sector
Chejava del río Ilabaya, distrito de Ilabaya, provincia
de Jorge Basadre, departamento de Tacna**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Adrián MAYHUIRE UQUICHI

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mayhuire, A. (2018). *Cálculo hidráulico de defensas ribereñas en el sector Chejava del río Ilabaya, distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS POR LA MODALIDAD M3, SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 20:00 horas del día lunes 30 de julio de 2018 en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA y con la asistencia del Ing. MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE y del Ing. ENOCH MAGUIÑA RODRIGUEZ, miembros del Jurado Examinador de Monografía Técnica, de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de titulación profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica en la que el Bachiller ADRIAN MAYHUIRE UQUICHI puso a consideración del Jurado Examinador su trabajo de Monografía Técnica como parte de los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos por la Modalidad M3, Suficiencia Profesional.

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente e invitó al Bachiller ADRIAN MAYHUIRE UQUICHI, a realizar la exposición de su trabajo titulado "CALCULO HIDRAULICO DE DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL SECTOR CHEJAVA DEL RIO ILABAYA, DISTRITO DE ILABAYA, PROVINCIA JORGE BASADRE, DEPARTAMENTO DE TACNA" durante un tiempo de 30 minutos.

Concluida la exposición del candidato, y luego de las preguntas de rigor de parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación correspondiente. Se procedió a promediar la nota final obtenida en los cursos del Ciclo de Actualización Profesional (CAP), y el resultado se promedió a su vez con la nota de sustentación de la monografía para hallar el promedio final.

Al término de la deliberación del jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida, la misma que fue:

DIECISTES 16

El Presidente del Jurado Examinador, Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller ADRIAN MAYHUIRE UQUICHI Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 21 horas del mismo día, se levantó la sesión.

Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
PRESIDENTE

Ing. MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE
MIEMBRO

Mg. Ing. ENOCH MAGUIÑA RODRIGUEZ
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis abuelos, tíos, padres, hermanos, esposa
e hijo primogénito Adriano Joaquin, quien es
mi motivación

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de la E.A.P de Ingeniería Mecánica de Fluidos quienes han compartido sus conocimientos académicos para lograr ser un profesional de éxito y con valores.

Agradezco a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por haberme dado la oportunidad de estudiar y compartir sus aulas.

Una profunda gratitud a las empresas y clientes por haberme dado la oportunidad de trabajar y así poner en práctica los conocimientos adquiridos en el quehacer diario.

Un agradecimiento especial a mi asesor por sus consejos y apoyo incondicional y a mi amigo Diomedes Zuñiga, que con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto de investigación.

Resumen

La presente monografía técnica ha sido desarrollada ante la necesidad de presentar soluciones a los problemas de inundación y/o erosión de la infraestructura urbana, vial, de riego y áreas agrícolas, por efecto del Fenómeno del Niño. Se evaluarán las defensas ribereñas del tipo diques enrocados, determinando la sección estable de cauce del río, la pendiente hidráulica, profundidad de socavación, y altura del muro.

Palabras clave: Defensas ribereñas, sección estable del cauce del río, pendiente hidráulica, socavación.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

1.1	Generalidades	1
1.2	Problemática y problema a solucionar	1
1.3	Objetivos de la investigación	2
1.3.1	Objetivo General	2
1.3.2	Objetivos específicos	2
1.4	Limitaciones del tema	2

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1	Erosión	3
2.1.1	Aspectos generales	3
2.1.2	Descripción de erosión	4
2.2	Medidas de prevención y control de erosión en las riberas de los ríos	8
2.2.1	Medidas agronómicas	8
2.2.2	Medidas estructurales	10
2.3	Aspectos de diseño	21
2.3.1	Evaluación de áreas susceptibles a erosión	21
2.3.2	Geomorfología	22
2.3.3	Hidrología	27
2.3.4	Hidráulica	39
2.3.5	Topografía	40

CAPITULO III: DESARROLLO DEL TEMA

3.1	Condiciones iniciales	50
3.2	Datos iniciales	53
3.3	Metodología de cálculo	53
3.4	Cálculos de ingeniería	54
3.4.1	Cálculo de la sección estable o amplitud de cauce.	54
3.4.2	Profundidad media	55
3.4.3	La pendiente hidráulica	55
3.4.4	Cálculo de la profundidad de socavación.....	56
3.4.5	Profundidad de la uña.....	57
3.4.6	Cálculo de la altura del muro	57
3.5	Discusión de los resultados	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		59
BIBLIOGRAFÍA		60

Lista de tablas

Tabla 1. Valores para K_s	32
Tabla 2. Valores en Y_n y σ_n en función de n	34
Tabla 3. Desviación estándar reducida σ_n	35
Tabla 4. Y en función del periodo de retorno	35
Tabla 5. Valores aproximados de factor de orilla (F_s).....	41
Tabla 6. Tabla de valores de K_1 para trabajar con la fórmula de Simons y Henderson	41
Tabla 7. Coeficiente recomendado para calcular el borde libre del muro de encauzamiento.....	43
Tabla 8. Coeficiente β para socavación	46
Tabla 9. Valores de X y $1/(X + 1)$	46
Tabla 10. Pesos específicos y ángulos de fricción de suelos	47

Lista de figuras

Figura 1.	Cuenca erosión fluvial.....	3
Figura 2.	Rio erosión laminar	4
Figura 3.	Erosion, transporte y sedimentacion	5
Figura 4.	Erosión fluvial	5
Figura 5.	Transporte de partículas	6
Figura 6.	Erosión laminar	7
Figura 7.	Erosión por surcos	7
Figura 8.	Erosión por corrientes	8
Figura 9.	Defensas vivas forestadas.....	9
Figura 10.	Defensas vivas forestadas.....	10
Figura 11.	Dique enrocado	11
Figura 12.	Dique enrocado al volteo.....	12
Figura 13.	Muros de concreto ciclópeo y armado	13
Figura 14.	Tetrapodos	14
Figura 15.	Losa de concreto armado.....	15
Figura 16.	Colchones de piedra y alambre	15
Figura 17.	Presas de regulación	16
Figura 18.	Gaviones	17
Figura 19.	Espigones playa de Antilla	18
Figura 20.	Rayados o terraplenes	19
Figura 21.	Limpieza de cauce sección típica	19
Figura 22.	Cursos de agua secciones transversales	23
Figura 23.	Tipo de lecho móvil.....	25
Figura 24.	Transporte de sedimentos.....	27
Figura 25.	Plano de planta de zona a proteger	48
Figura 26.	Sección típica	49
Figura 27.	Secciones transversales	49
Figura 28.	Perfiles longitudinales	51

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

1.1 GENERALIDADES

Las defensas ribereñas son estructuras utilizadas para preveer y controlar las inundaciones que pueden generar los ríos caudalosos en épocas de avenidas. Entre las medidas de prevención y control de erosión de las riberas de los ríos tenemos a las defensas vivas naturales, defensas vivas forestadas y medidas estructurales.

Dentro de las medidas permanentes tenemos los siguientes: diques, enrocados, estructuras de concreto, dados, losas y colchones.

En el presente trabajo de investigación se evalúa las defensas ribereñas del tipo dique, enrocados en el río Ilabaya en el sector Chejava.

1.2 PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA A SOLUCIONAR

Los ríos de la costa se caracterizan por la irregularidad de sus regímenes; presentándose caudalosos durante las épocas de avenidas y disminuyendo sus caudales en épocas de estiaje. Sus cauces son sinuosos y no definidos en algunos tramos, producto del constante fenómeno de erosión y sedimentación a la cual están sujetos. Esta problemática de los ríos se acentúa notablemente en las zonas donde las pendientes longitudinales disminuyen, aumentando el proceso de sedimentación, producido por la disminución de la velocidad del flujo. Como consecuencia de este proceso, los desniveles entre los cauces de los ríos y las infraestructuras urbanas y áreas de cultivo disminuyen, originando inundaciones y/o erosión de los terrenos de cultivo.

Esta pesquisa se plantea ante la necesidad de presentar soluciones a los problemas de inundación y/o erosión de la infraestructura urbana, vial, de riego y áreas agrícolas en el sector de Chejava, ante la presencia de avenidas en el río Ilabaya

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo General

Elaborar el diseño hidráulico de defensas ribereñas en el río Ilabaya en el departamento de Tacna.

1.3.2 Objetivos específicos

Entre los objetivos específicos se mencionan la determinación de:

- a. La sección estable
- b. La profundidad media
- c. La profundidad de socavación
- d. La profundidad de la uña
- e. La altura del muro

1.4 LIMITACIONES DEL TEMA

Este trabajo se limita al cálculo hidráulico de la defensa ribereña para el sector Chejava del río Ilabaya.

Los temas constructivos, no son parte del presente trabajo monográfico. Asimismo los temas sociales, ni ambientales.

Igualmente los costos de construcción, operación y mantenimiento no son investigados.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 EROSIÓN

2.1.1 Aspectos generales

a. Suelo

Es la cobertura superficial de la corteza terrestre que se forma por procesos de oxidación, hidratación e hidrólisis, carbonatación y disolución.

El suelo es útil para la agricultura porque los procesos químicos dejan libres sustancias minerales en forma de iones, los cuales pueden ser absorbidos por las plantas y utilizados para su desarrollo vital.

b. Cuenca

Es el área ocupada por todo un sistema hidrológico íntimamente ligado a un río que tiene un cono de deyección al mar o a otro río mayor.



Figura 1. Cuenca de erosión fluvial (elaboración propia)

c. Río

Es la concentración de las aguas de escorrentía en un cauce definido y sobre el cual discurren, a través de las secciones de su curso superior, medio e inferior. Las partes de un río son: cauce, álveo y lecho.

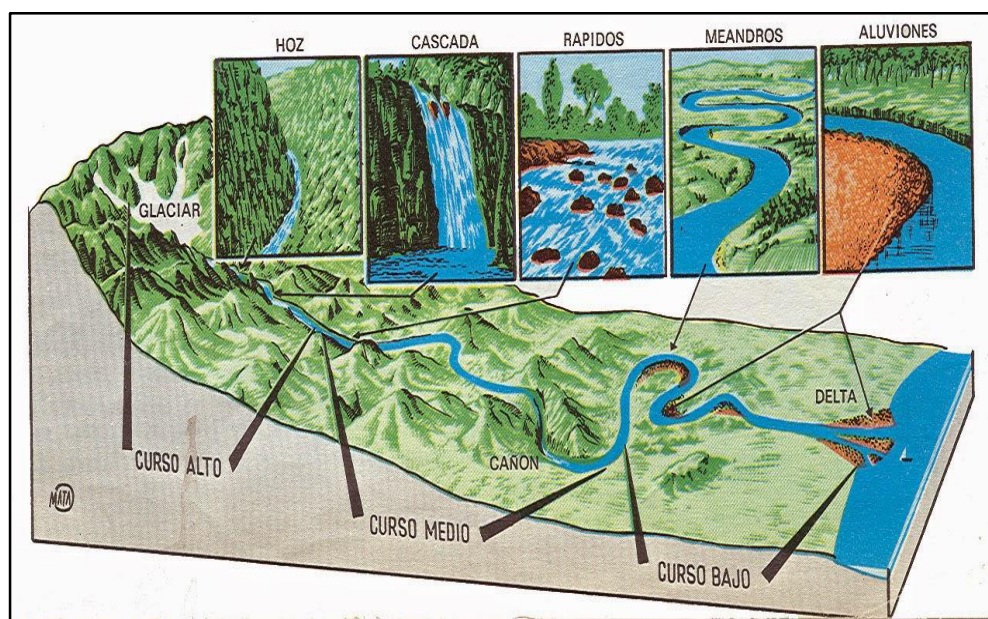


Figura 2. Río. (Elaboración propia)

2.1.2 Descripción de erosión

a. Significado de erosión

Es un proceso destructivo de los materiales de la corteza terrestre por acción de los procesos geológicos, que implica fracturamiento, fisuramiento, alteración física y/o química hasta el momento de arranque de los materiales, sin considerar el transporte. Los agentes erosivos son: agua, viento y el hombre mismo.

La erosión es una fase del proceso de degradación, el cual tiene tres fases: erosión, transporte y sedimentación.

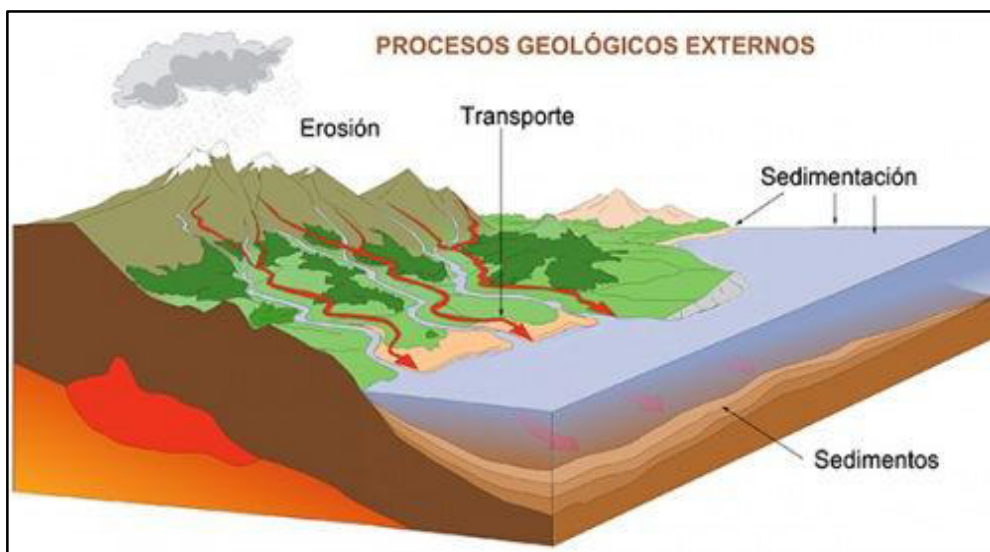


Figura 3. *Erosion, Transporte y Sedimentacion.*

Fuente: <https://sites.gogle.com>

La erosión fluvial es un trabajo continuo que realizan las aguas corrientes sobre la superficie terrestre. La erosión fluvial socava el valle en forma de V (perfil transversal), causando la profundización del cauce, el ensanchamiento y el alargamiento; según el estado de desarrollo hace más o menos intenso el proceso, como se muestra en la figura que sigue.



Figura 4. *Erosión Fluvial*

Fuente: Diario la Republica.

b. Mecanismo de la erosión por el agua

Los pasos principales de la erosión son: La acción del agua en el suelo, el desprendimiento de las partículas y su transporte.

- ✓ El desprendimiento se produce por el impacto de las gotas de lluvia.
- ✓ El transporte es el movimiento o traslado del suelo por el agua de escorrentía, llevándolo de un lugar a otro.

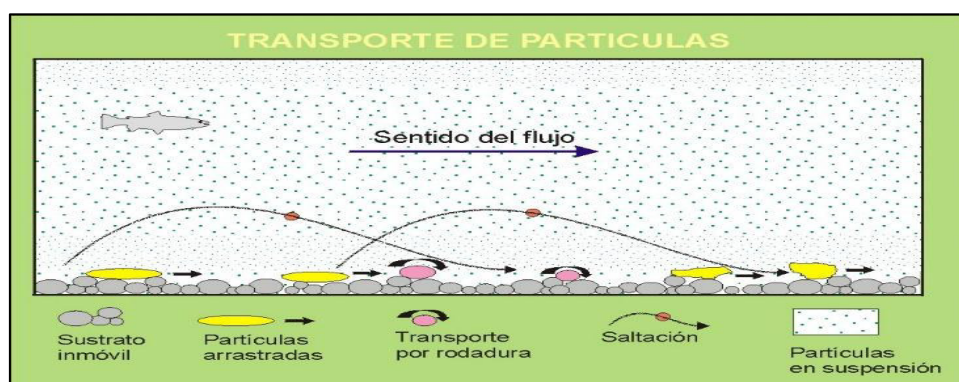


Figura 5. Transporte de partículas

Fuente: <http://www.medellin.unal.edu.co/>

c. Tipos de erosión

Cuando existe desprendimiento y transporte de materiales o partículas de suelo, según las condiciones, se presentan diversos tipos de erosión:

✓ Laminar

Es la erosión más común y probablemente la que más daño hace debido a que es imperceptible. Es la remoción de una delgada capa o “lámina” de suelo. Aquí el suelo es desprendido por el impacto de las gotas de lluvia. Al trasladarse las partículas de suelo en el agua y cuando hay zonas de sedimentación, se forman costras muy delgadas sobre la superficie, las cuales muchas veces actúan como capas impermeables, disminuyendo así la capacidad de infiltración y aumentando la escorrentía superficial.



Figura 6. *Erosión Laminar*
Fuente: Gualtiero Valverde

✓ **Surcos o canales y cárcavas**

Ocurre cuando el agua superficial se concentra. Así, el agua como masa en movimiento suministra la energía para el desprendimiento y el transporte del suelo, formando verdaderos surcos o canaletas en la superficie del lecho. Cuando la erosión por surcos se acentúa, se van formando verdaderas “zanjas” o cárcavas, que se presenta donde la topografía permite la concentración de agua, especialmente donde hay una fuente pendiente, como se muestra en la figura.

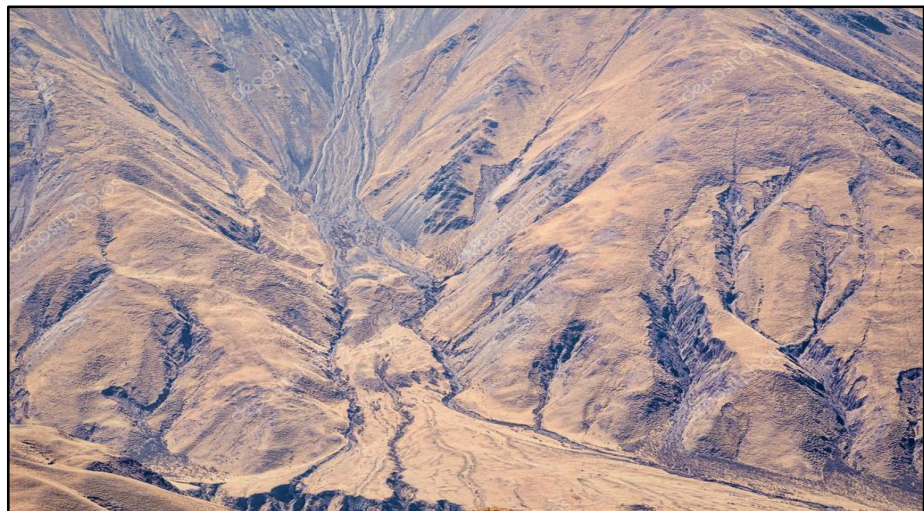


Figura 7. *Erosión por surcos*
Fuente: OlafSpeier

✓ Corrientes

Es el transporte de material de las márgenes y del lecho de las quebradas. La parte externa es la que más expuesta está a la erosión, debido a que la energía del agua se dirige hacia ella.



Figura 8. *Erosión por corrientes*
Fuente: Wikipedia, Stephen Thompson

2.2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE EROSIÓN EN LAS RIBERAS DE LOS RÍOS

Es el conjunto de medidas pendientes a solucionar problemas generados por la energía erosiva del agua. Entre las medidas de prevención y control se tiene medidas agronómicas y medidas estructurales.

2.2.1 Medidas agronómicas

Entre las medidas agronómicas se tienen a las defensas vivas:

a. Defensas vivas - naturales

Estas son las mejores defensas contra la inundación y la erosión del río, protegiendo el lecho con árboles y arbustos en ambas márgenes.

La acción del hombre y su inadecuada explotación por fines de madera o usar el área deforestada con cultivo; origina el debilitamiento de la misma, permitiendo que el río se desborde causando serios daños, como se muestra en la figura.



Figura 9. Defensas vivas naturales
Fuente: Amazonía Peruana.

b. Defensas vivas - forestadas

Está basada en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas, la cual se realiza una vez determinada la sección estable del río. Su densidad debe ser en función a las características de las especies. La plantación se efectuará en sectores críticos, o como complemento a las estructuras o defensas artificial. El ancho de plantación en cada margen vía de acuerdo a las características del río, por lo general es de 10 a 30 m. En la costa peruana las especies más empleadas son los “sauces”, “guayacán”, el “huarango”; arbustos como el “chilca”, “callacas”, “pájaro bobo”, etc; también caña en sus variedades “guayaquil”, “castilla”, “caña brava”, como se muestra en la figura siguiente.



Figura 10. Defensas vivas forestadas
Fuente: Agronoticias.pe

2.2.2 Medidas estructurales

Son todas aquellas medidas que consisten en estructuras diseñadas en base a los principios de la ingeniería, para controlar la erosión producto de la esorrentía superficial. En el aspecto de diseño se toma en cuenta la hidrología e hidráulica.

En la hidrología, es necesario tener en cuenta los registros hidrológicos, es decir, las descargas de los ríos y la frecuencia con las que éstas se producen; por lo general se recomienda 50 años de registro anteriores al año de ejecución, para determinar el período de retorno y la descarga máxima de diseño.

En hidráulica, para el diseño de la estructura se debe recabar datos como: pendiente, sección estable, tirante, sedimentación, socavación, etc;

Los tipos de estructuras más utilizadas en la previsión y control de la erosión en las riberas de los ríos, son:

a. Permanentes

Son aquellas estructuras que se construyen en base a concreto armado, ciclópeo, rocas y gaviones. Su diseño y ejecución requieren conocimientos y experiencia especializada. Se emplean para prevenir y controlar la erosión hídrica de terrenos de cultivo y otros efectos, desviando el flujo de agua y encauzando el río en los sectores críticos.

Estas estructuras son:

- **Diques enrocados**

Son estructuras conformadas en base a material de río dispuesto en forma trapezoidal y revestido con roca pesado en su cara húmeda; pueden ser continuos o tramos priorizados donde se presenten flujos de agua que actúan con gran poder erosivo.

Las canteras de roca deben ser de buena calidad y estar ubicadas a una determinada distancia, recomendándose lo más cercano posible a la zona de trabajo, como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 11. *Dique enrocado*
Fuente: Diario Extra.

- **Enrocado con roca al volteo**

Son los revestidos con roca pesada al volteo o colocado en forma directa por los volquetes; puede ser en forma parcial, solo la cara húmeda o en forma total, uña y cara húmeda.

El volumen de roca empleada es mayor o su talud de acabado no es muy estable.



Figura 12. *Dique enrocado al volteo*
Fuente: Gobierno Regional de Piura.

- **Enrocado con roca colocada**

Cuando la roca es colocada con empleo de cargador frontal, excavadora o pala mecánica, en la uña y cara húmeda de terraplén.

El volumen de roca empleada es menor y el talud que se logra es estable y guarda las especificaciones de diseño.

- **Estructura de concreto**

Estas obras son construidas en base a concreto y sirven para la protección de la acción erosiva del río, sobresalen dentro de estas obras los muros de encauzamiento, destacándose los siguientes:

➤ **Muros de concreto ciclópeo**

Son de forma longitudinal, de dimensiones variables en función al caudal máximo de diseño y el nivel de socavación.

Son contruidos con material de río, como se muestra en la figura 9A.

➤ **Muros de concreto armado**

Construidos con armadura de fierro y son de dimensiones menores que los muros de concreto ciclópeo, como se muestra en la figura 9B.

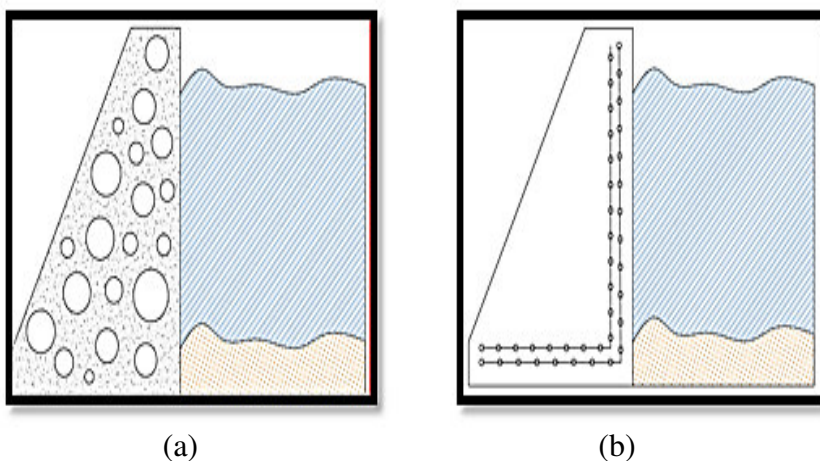


Figura 13. *Muros de concreto ciclópeo y armado*
Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.16), por Terán A. Rubén.

➤ **Dados**

Son cubos de concreto de 1-1,5 m de lado, contruidos in situ y superpuestos entre sí con empleo de maquinaria pesada. Se utiliza material del río, su ventaja es en que conforme se van hundiendo, puede colocarse encima otro, hasta estabilizarse.

Tetrápodos. Son estructuras individuales que se asemejen a un

“Yack” por apoyarse en sus brazos que son cuatro, los costos son empleados como disipadores de energía y permiten en cierta forma un control de la erosión hídrica, como se muestra en la figura.



Figura 14. *Tetrapodos*
Fuente: Panmaule



- **Losas**

Son de concreto armado que se colocan en la cara húmeda del dique trapezoidal y espaciados entre si, como se muestra en la figura del espacio posterior.



Figura 15. *Losa de concreto armado*
Fuente: FOVICKS

- **Colchones**

Son estructuras hechas en base a malla de alambre galvanizado de espesor variable y que se coloca en la cara húmeda del dique, como se muestra en la figura.



Figura 16. *Colchones de piedra y alambre*
Fuente: Archiexpo.

- **Presas de regulación**

Se emplean en aquellos lugares donde la estabilización de los ríos no son suficientes con la protección de las riberas. Estas presas regulan el caudal de descarga, almacenando el agua en los momentos de descarga máxima, como se muestra en la figura que sigue.



Figura 17. *Presas de regulación.*
Fuente: VS Ingenieros.

- **Gaviones**

Son estructuras flexibles construidas por una red de malla hexagonal tejida a doble torsión. Se compone de alambre galvanizado con un recubrimiento plastificado que debe garantizar una vida útil adecuada del alambre.

El llenado de las cajas del gavión normalmente se hace en base a cantos rodados, que se encuentran en los cauces de los ríos. Estas estructuras son apropiadas en zonas donde el río presenta pendiente suave y media, como se muestra en la figura.



Figura 18. *Gaviones*
Fuente: VS Ingenieros.

b. Temporales

Son aquellas estructuras cuyo costo son menores y su construcción no requiere mayormente de conocimiento técnico especializado. Su finalidad es desviar el flujo de agua en forma relativa de los terrenos de cultivo, a fin de protegerlos. Dentro de estas estructuras temporales se tiene:

- **Espigones**

Dentro de las obras de carácter temporal, son las que demuestran mayor eficiencia de trabajo de control. En si vienen a ser acumulaciones de material de río dispuestos en forma trapezoidal, revestidos con roca pesada. Construidos con empleo de maquinaria, los espigones van dispuestos en forma perpendicular o paralelos al flujo del río, con longitudes variables de 50 a 100 m y

espaciamiento entre sí de 50 a 200 m, en este caso se denominan deflectores disipadores, como se muestra en la figura.



Figura 19. *Espigones playa de Antilla*
Fuente: Diario del Vasco.

- **Rayados o terraplenes**

Consiste en la acumulación de material de río mediante maquinaria pesada, por lo general tractores de oruga; esta acumulación se hace con el objeto de desviar el flujo y proteger terrenos de cultivo; este material arrimado por lo general toma la forma trapezoidal con dimensiones de 15 m de base mayor por 4 m de corona y altura variables a 2 a 2.5 en función del caudal, y sección estable. El material acumulado no es compactado, en otros casos sólo se acumula frente a los terrenos de cultivo, tratando de profundizar el cauce. Estos trabajos son ejecutados anualmente ya sea por cuenta estatal o por los propios agricultores, siendo sus resultados bastante irregulares, ya que por lo general con una descarga de 400 m³/seg., fácilmente lo erosiona debido al flujo concentrado en la zona de trabajo, como se muestra en la figura 16.



Figura 20. *Rayados o terraplenes*
Fuente: Civilgeeks.

- **Limpieza de cauce**

Consiste en la limpieza y uniformización del cauce del río mediante el empleo de maquinaria pesada para obtener así una sección estable, tratando de recuperar la pendiente de equilibrio del río en el tramo crítico.

La profundidad de corte de la parte central es en promedio 1.5 m con respecto al nivel de las formaciones de la terraza última o nivel de terreno a proteger; estableciendo un ancho mínimo estable de 60 m., lo cual permite en las primeras avenidas definir un cauce no erosivo, como se muestra en la figura.



Figura 21. *Limpieza de cauce*
Fuente: ANDINA

- **Caballos-abarcados**

Son las estructuras formadas por troncos en número de tres a cuatro y dispuestos en forma piramidal, amarrados con alambre; en la parte medio lleva una plataforma amarrada, el cual es cargado con piedra de río o de cantera si la hubiera cerca. Las dimensiones más usadas son troncos de tres a cuatro metros de altura y de espesor de 40 a 50 cm, siendo por lo general de “sauce”, los troncos más usados.

Los caballos cuando van fijados en baterías de 10 a 20, se les denominada “abarcados”, existiendo una separación mínima de 80 cm entre ellos, en la parte media y en las bases en forma continua. En la parte media va una plataforma, en la cual a manera de depósito tiene un cajón tejido con troncos, el cual es llenado con cantos rodados de 12” a 20”. Se le emplea en gran parte de los valles y su estabilidad depende de la magnitud de la descarga del río. Si estas estructuras son colocadas en forma perpendicular al flujo del agua, serán fácilmente arrasadas, no siendo así con los que sirven de desviación del flujo y colocadas en forma paralela a mayores caudales o concentración de flujo en el punto establecido, son destruidos.

- **Cestones**

Son depósitos de forma cónica o canastas contruidos en base a ramas o troncos flexibles y llenados con piedra de río, amarrado en la parte terminal. Se comportan como estructuras de gravedad. En crecientes se usa como medida para evitar desbordes.

2.3 ASPECTOS DE DISEÑO

2.3.1 Evaluación de áreas susceptibles a erosión

Esta evaluación se efectúa en las áreas que se encuentran en evidente estado de erosión, para lo cual se requiere una evaluación de los daños existentes y daños potenciales, a fin de tomar medidas de control o prevención en forma oportuna.

Estas evaluaciones se hacen considerando los siguientes aspectos:

a. Aspecto agrícola

Es una evaluación referida a las áreas erosionadas o sujetas a este fenómeno, la rentabilidad de la tierra y los productos que se extraen. La unidad de medida es la hectárea (ha), se considera el valor del terreno como daño. Se tipifica el grado de pérdida del terreno o cultivo.

b. Urbano

Se considera los diferentes centros urbanos y anexos existentes, susceptibles a la inundación y erosión, que pone en riesgo a la población y que requieren protección; para ello, es necesario un inventario pormenorizado de centros poblados, números de viviendas de servicios y población.

c. Infraestructura

Se evalúa la infraestructura de riego y drenaje del área agrícola, la infraestructura vial, como es el caso de puentes y caminos, el

abastecimiento de agua para la población, las plantas hidroeléctricas, etc; es decir todas las estructuras sujetas a erosión en función a máximas avenidas.

d. Industrial

Se deberá evaluar las probables pérdidas económicas referidas al aspecto agroindustrial del valle y otras industrias existentes en la zona.

2.3.2 Geomorfología

Este elemento de análisis es de mucha importancia para los trabajos de diseño de obras de prevención y control. Entre las evaluaciones se tiene:

a. Curso de agua

Los ríos con mayor o menor incidencia, presentan un lecho móvil, con varios canales que se unen y se separan. El tiempo de escurrimiento es perenne, con pendientes fuertes; de gran tamaño como el río Amazonas, que su lecho principal es de 2 km, y otros de menor extensión; y en cuanto a su aspecto pueden tener un lecho único o dividido por tipo de ríos que se presentan en zonas planas con energía de agua bastante baja.

Los torrentes o cursos de agua varían en su longitud, con pendientes variables o regímenes variados, según las épocas de estiaje y de máximas avenidas. Los ríos invaden continuamente las terrazas, a menos incremento, sale el agua de su lecho para ocupar otro de inferior nivel. Por los procesos de sedimentación, este hecho se

levanta y el torrente ocupará otro lecho hasta formar su cono de deyección, como se muestra en la figura.

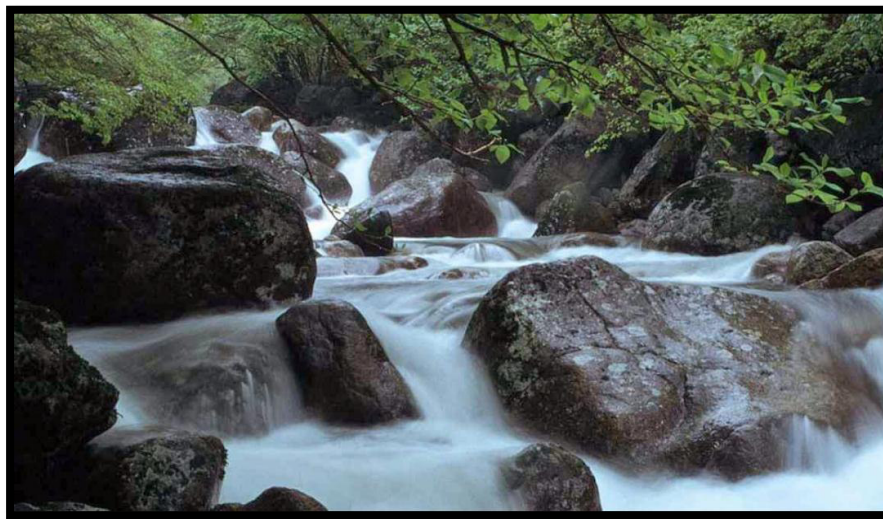


Figura 22. *Cursos de agua.*
Fuente: Derechoromano.es

b. Tipo de flujo

En época de avenidas cuando los ríos presentan los mayores caudales y de acuerdo a su potencia “Bruta” adquirida, es notorio destacar tipos de flujo que son los que determinan los desplazamientos o modificaciones del lecho.

Por la oscilación de la concentración del mayor caudal en un punto determinado, el flujo de un río, puede ser de flujo central y flujo lateral.

➤ Flujo central

Es turbulento y variable en dimensiones, motivado por el grado de sedimentación y el tipo de lecho. Este tipo de flujo es el que produce erosión en un punto y sedimentación en el lado opuesto. El

tirante máximo se moviliza en forma continua y erosiona en el sentido que tome o inunde. El cambio es brusco, cuando la sedimentación es rápida y bastante fuerte.

➤ **Flujo lateral**

Es erosivo en menor grado, produce las sedimentaciones denominadas de deposición. Puede considerarse que un flujo es lateral, bajo ciertas condiciones especiales de pendientes y nivel con respecto al área agrícola sea bastante erosivo, y puede llegar a ser un flujo central.

c. Tipo de lecho

Lecho es el espacio que puede ser ocupado por el agua o los cursos de agua. El lecho temporal es un álveo determinado por dos orillas de cantos rodados o vegetación. Los materiales pueden ser ya sea roca o materiales transportados por el río.

Los ríos presentan lechos de inundación recubierto por aluviones en extensiones variables. El lecho temporal está cubierto por cantos rodados y carece de vegetación, y es de amplitud variable. El canal de estiaje ocupa una pequeña parte del lecho ordinario, no está limitado por orillas bien definidas y tiene curso sinuoso en el lecho aparente, lo cual varía sustancialmente en avenidas, donde el lecho se desplaza o moviliza.

Las orillas están limitas por zonas que presentan una cobertura arbórea importante, reduciendo la amplitud del lecho en unas zonas más que en otras.

La parte de mayor profundidad en el canal de estiaje se encuentra en la curva, cerca de las orillas o cuando ésta se pega al lado rocoso, manteniendo la curvatura. En las partes rectas que atraviesa entre curva y curva son menos profundas.

El material del lecho de río está constituido por cantos rodados que han sido acarreados por la fuerza del agua, de formaciones geológicas de diferente constitución, así como se pueden observar los diferentes grados de transporte y rodamiento en el análisis de sus bordes.

La movilización del lecho varía con el tiempo y caudales en avenidas; esto se debé a que no tiene estructura alguna que le resta amplitud de cauce y lo defina, estabilizándolo. Caso de lecho móvil, como se muestra en la figura.

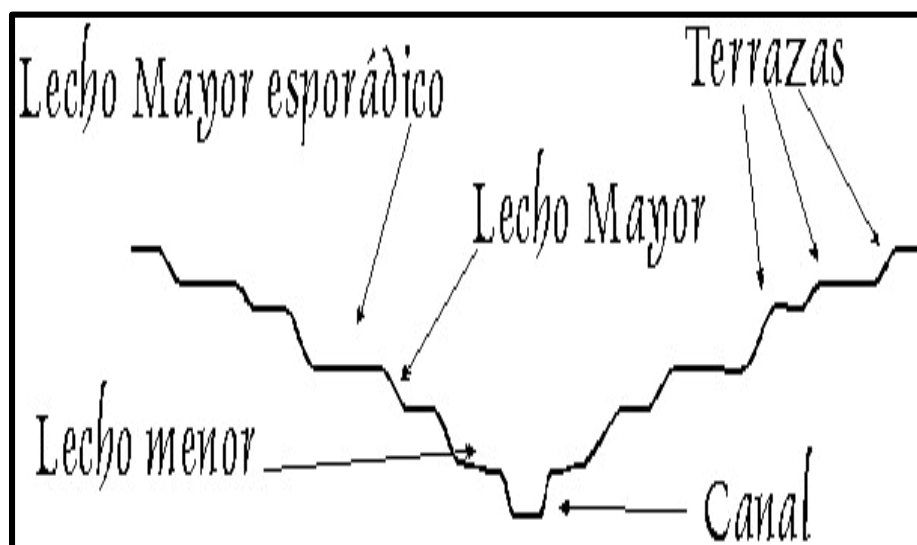


Figura 23. *Tipo de lecho móvil*
Fuente: Santiago Pastrana

d. Potencia de flujo

En un punto y en un momento determinado, todos los cursos de agua tienen una cierta potencia. Esta potencia depende de la masa de agua y de la velocidad de la misma, siendo esta última, función de la pendiente longitudinal del lecho.

En las avenidas, existe una potencia bruta que es suficiente para el transporte de materiales, la potencia neta es la utilizada en la erosión del lecho. La potencia bruta se presenta en avenidas donde se tiene los máximos caudales y la energía es mayor, mas no en los casos de estiaje donde el río modifica su potencia, que es sólo suficiente para el transporte de un mínimo de sedimentos y frotamientos internos entre moléculas de agua y sedimentos finos en suspensión.

e. Sedimentación

Es el proceso geológico mediante el cual materiales detríticos erosionados, se acumulan en un determinado lugar como en las depresiones continentales.

Los procesos de sedimentación en los ríos de régimen torrencioso y jóvenes, constituyen un problema complejo y difícil de evaluar; debido a las características de flujos inestables y no uniformes, lecho móvil, etc.

Los procesos de sedimentación varían con el tipo de sedimentos que produce la cuenca.

Los sedimentos se mueven en suspensión en la corriente de agua y como acarreo a lo largo del lecho. La saltación, es movimiento de partículas rebotando a lo largo del cauce.

Las mediciones de sedimentos son bastante complejas. Los grados de sedimentación dependen de la velocidad y tamaño de las partículas, etc.

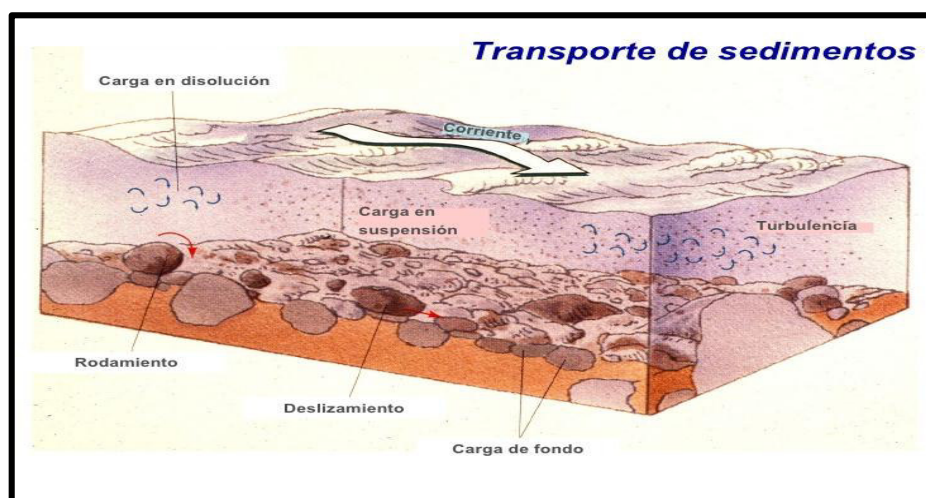


Figura 24. *Transporte de sedimentos. (elaboración propia)*

2.3.3 Hidrología

a. Características generales del río

Las características de los ríos de la costa peruana, obedecen a iguales o similares condiciones hidrológicas entre ellos, es decir, son representativos de un régimen permanente a eventual, gran variación de caudal durante el año y elevado caudal en épocas de avenidas, notándose diferencias en el grado de sedimentación y el tipo de sedimento por la naturaleza de las mismas cuencas.

Los ríos de la cuenca del Pacífico - Están constituidos por 53 ríos, que nacen en la cadena occidental de los Andes Peruanos y van de este a oeste en forma transversal.

- Son ríos exorreicos, además contiene ríos arreicos.
- Son de régimen irregular, fuerte diferencia de caudal del verano al invierno, con una alimentación glacio –niveo – pluvial.

- Son ríos de recorrido corto y torrencioso con gran trabajo erosivo en su recorrido.
- No son navegables a excepción del río Tumbes que tiene régimen diferente.
- Son ríos de poco caudal
- Son los ríos más explotados y contaminados del Perú.

Principales ríos:

Río Zarumilla (Tumbes), río Tumbes (Tumbes), río Chira (Piura), río Piura (Piura), río La Leche (Lambayeque), río Lambayeque – Reque – Taymi – Chancay (Lambayeque), río Jequetepeque (La Libertad), río Chicama (La Libertad), río Moche (La Libertad), río Virú (La Libertad), río Santa (Ancash), río Grande (Casma – Ancash), río Fortaleza (Lima), río Huaura (Lima), río Chancay- Huaral (Lima), río Chillón (Lima), río Rímac (Lima), río Lurín (Lima), río Cañete (Lima), río Chíncha (Ica), río Ica (Ica), río Grande- Ingenio – Nazca (Ica), río Ocoña – Cotahuasi (Arequipa), río Camaná – Majes – Colca (Arequipa), río Locumba (Tacna) río Quilca – Sihuas – Vitor – Chili (Arequipa), río Tambo (Arequipa, río Osmore (Moquegua), río Caplina (Tacna).

Al hablar de ríos cuyas características de formación provienen de lechos de ríos jóvenes o en proceso de rejuvenecimiento, hay que uniformizar criterios basados en observaciones para un área de estudio determinado, siendo éstos los que más se ajustan a las condiciones del río, dadas sus

características intrínsecas y a la vez teniendo en cuenta los movimientos oscilatorios leves a nivel de continentes y lecho odónico que pueden hacer variar las mismas, según sea el orden de su incidencia.

En base a aspectos específicos que pueden extraerse del estudio, se puede llegar a establecer diseños de estructuras que controlen o den solución a ciertos aspectos negativos que ocasiona esta masa de agua en movimiento, evitando o disminuyendo los daños que causa a lo largo de su trayectoria en las riberas con cultivos y sin protección natural alguna.

b. Descargas máximas

Es conveniente recabar la información de todas las descargas máximas de las estaciones de aforo confiables que corresponden a cada año.

El periodo de máximas descargas se da por lo general en los meses de enero-marzo y excepcionalmente en abril, y es debido a las precipitaciones en la parte media y alta de la cuenca, que definen el periodo de avenidas. Los meses de setiembre-noviembre, se caracterizan por presentarse en dicho periodo las descargas mínimas que da el periodo de estiaje. Son estos valores extremos que permiten efectuar el análisis hidrológico para el diseño de las obras hidráulicas de control, almacenamiento, regulación y balance del recurso hídrico.

c. Métodos de determinación de máximas avenidas

- **Métodos empíricos**

Lo constituyen las fórmulas empíricas, las cuales en la actualidad son poco usadas por la existencia de otros procedimientos y la

aplicación de la informática. Ante la escasez de datos se opta por estas fórmulas, para conocer en forma rápida la magnitud del máximo caudal que se puede esperar; el mismo que puede ser comparado con datos reales de cuencas vecinas o similares.

- **Métodos históricos**

Permiten conocer la máxima avenida registrada para un periodo determinado, en base a la recopilación de datos sobre las avenidas ocurridas. Así mismo permiten conocer o estimar una probable avenida mayor o la máxima conocida. Las dificultades son:

- La carencia e insuficiencia de datos.
- La calidad de la información.
- El cálculo de la avenida en base a los datos recabados, es referido a niveles y no a gasto.

- **Métodos de correlación hidrológica**

Se aplica cuando se cuenta con datos hidrológicos y pluviométricos; en este caso se aplica la correlación con los datos de máximos caudales de una cuenca vecina o próxima, cuyas características en sus aspectos topográficos, geológicos, suelo y tipos de cobertura, sean similares a la cuenca en estudio.

Esto permite un adecuado manejo de la información y estimación racional de las avenidas.

- **Métodos directos o hidráulicos**

La aplicación de estos métodos no debe obviarse, aunque no cuentan con metodología hidrológica, mayormente permiten obtener información bastante útil, sobre todo para fijar con precisión la altura de niveles alcanzados por el agua en tiempos pasados y permite conocer el gasto máximo instantáneo.

Este considera la observación y medición de las características de una sección estable del río, es decir donde no existe demasiados desplazamientos, caso de paredes laterales sólidas o fijas conformadas por: roca, buena cobertura vegetal, rellenos de huaicos, etc. Para determinar la máxima descarga, la altura de ésta se determina por las huellas o rastros dejados en las paredes de la caja del río. Para su cálculo se aplica generalmente la fórmula de MANNING – STRICKLER, con valores K_s , como se muestra en la tabla 1.

K_s = coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río.

Considerando valores de acarreo para secciones anchas $b_o > 30m$

Se tiene: $Q = b_o \cdot T \cdot (K_s \cdot S^{1/2})$ $T = [Q / (K_s \cdot b_o \cdot S^{1/2})]^{3/5}$

Tabla 1. *Valores para Ks*

DESCRIPCION	K ₁
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo regular	33 - 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza) con acarreo inmóvil)	25 - 28
Torrentes con derrubio grueso, con acarreo móvil	19 - 22

Extraído de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.24), por Terán A. Rubén.

- **Métodos estadísticos o probabilísticos**

Permiten a través de un registro histórico de máximas avenidas, estimar la máxima avenida de diseño por su extrapolación mediante su probable distribución en diversos periodos de retorno. Se presentan dos casos:

- Con registro aceptable de 50 años, en este periodo se han dado avenidas de moderadas a bajas y al extrapolar un periodo de retorno, lo más probable es dé un valor bajo.
- Para las mismas condiciones de 50 años, se presentan avenidas extraordinarias.
- La excesiva extrapolación puede acarrear errores de apreciación en ambos extremos.

- **Métodos hidrológicos**

Tienen como objetivo la representación matemática del proceso o fenómeno de la formación de la avenida se estiman precipitaciones pluviométricas de duración y periodo de retorno determinado, se

calcula el escurrimiento que se genera en un punto de la corriente, estudiada, hasta establecer o dibujar el probable hidrograma.

Reproducen en forma aceptable el fenómeno, en base a parámetros como precipitaciones máximas y características físicas de la cuenca. Existen desventajas máximas y características físicas de la cuenca. Existen desventajas al extrapolar algunas de sus variables, por la irregularidad de las lluvias en la cuenca, y determinar las pérdidas por infiltración, que pueden distorsionar al estimar las avenidas a partir de las lluvias. Entre los métodos hidrológicos sobresalen:

- Método de hidrograma unitario, triangulares, sintéticos adimensionales, instantáneos, etc
- Método de isócronas (racional)
- Método de isoyetas.

Con la definición de la información hidrométrica de los cursos de agua que drenan en una cuenca, considerando las características fisiográficas, geomorfológicas y de la cobertura vegetal, se podrá aplicar metodologías o relaciones matemáticas existentes, que más se ajusten a la realidad geográfica de la zona.

d. Método de distribución de valores extremos – método de gumbel

Este método, es mayormente empleado para los proyectos de defensa ribereña con bastante aceptación.

En base a la fórmula de Gumbel, propuesta para valores extremos observados en muestras, y que sirve para predecir magnitudes máximas

de variables hidrológicas, asumiendo que estos valores son independientes, se calcula la distribución teórica de la serie anual y la función de los valores estadísticos de la serie empírica, mediante las siguientes relaciones:

$$P = e^{-e^{-y}} \quad (2.1)$$

Donde: P es la probabilidad de ocurrencia; e es la base de los logaritmos neperianos; y es la variable reducida que está dada por la relación:

$$y = a(X - X_f) \quad (2.2)$$

$$X_f = (1 - CV \frac{Y_n}{\sigma_n}) \quad (2.3)$$

$$a = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \quad (2.4)$$

Donde: X_f es el modo de distribución, a la medida de la dispersión, σ_n y Y_n , valores teóricos que son funciones sólo del valor de la muestra. Según Gumbel, las desviaciones medias (σ_n) y típicas (Y_n) de la variable reducida para una muestra de n datos, tiene los valores que se muestran en las tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Valores de Y_n y σ_n en función de de n

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	4952	4996	5035	5070	5100	5120	5157	5181	5202	5220
20	5236	5236	5268	5283	5296	5309	5320	5332	5343	5352
30	5362	5371	5380	5388	5396	5402	5410	5418	5424	5400
40	5436	5442	5448	5453	5458	5463	5468	5473	5477	5480
50	5485	5489	5493	5497	5501	5504	5508	5511	5515	5518
60	5521	5524	5527	5530	5533	5535	5538	5540	5543	5546
70	5548	5550	5552	5555	5557	5559	5561	5563	5565	5567
80	5569	5570	5572	5574	5576	5578	5580	5581	5583	5585
90	5586	5587	5589	5591	5592	5593	5595	5596	5598	5569
100	5600									

Datos extraídos de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.30), por Terán A. Rubén

Tabla 3. *Desviación estándar reducida σ_n*

10	0.950	0.968	0.983	0.997	1.010	1.021	1.032	1.041	1.049	1.056
20	1.063	1.070	1.075	1.081	1.086	1.092	1.096	1.100	1.105	1.108
30	1.112	1.116	1.119	1.123	1.125	1.128	1.131	1.134	1.136	1.138
40	1.141	1.144	1.146	1.148	1.150	1.152	1.154	1.157	1.158	1.159
50	1.162	1.162	1.164	1.166	1.167	1.168	1.170	1.172	1.172	1.173
60	1.175	1.176	1.177	1.178	1.179	1.180	1.181	1.182	1.183	1.184
70	1.185	1.186	1.187	1.188	1.189	1.190	1.191	1.192	1.192	1.193
80	1.194	1.195	1.195	1.196	1.197	1.197	1.198	1.199	1.199	1.200
90	1.201	1.201	1.202	1.203	1.203	1.204	1.204	1.205	1.205	1.206
100	1.207									

Datos recogidos de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.30), por Terán A. Rubén

Tabla 4. *Y en función del periodo de retorno*

Y	Tr
0,000	1,58
0,367	2,00
0,579	2,33
1,500	5,00
2,250	10,00
2,970	20,00
3,902	50,00
4,600	100,00
5,296	200,00
6,000	403,00

Datos hallados y recogidos de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.31), por Terán A. Rubén

- **Vida útil del proyecto**

La determinación de la avenida de diseño del proyecto por el método de Gumbel y el periodo de retorno establecido por análisis de frecuencia nos indica sólo el intervalo medio entre sucesos iguales o mayores que una magnitud dada; se debe tener en cuenta la vida útil de la estructura del proyecto, considerando un periodo de retorno mayor que la vida útil estimada y la probabilidad de ocurrir próxima a la unidad. Considerando un tipo de estructura para un periodo útil de 50 años, se asume un periodo de retorno igual a cuatro veces la vida útil de la

estructura. Los periodos de vida de la estructura tienen que estar en estrecha relación con el aspecto hidrológico.

$$J = 1 - P^n \quad (2.5)$$

$$P = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (2.6)$$

Donde: P es la probabilidad que el suceso no ocurra en cualquier año; J es el riesgo permisible que el suceso ocurra en cualquier period; n es la vida útil del proyecto, conjuntamente con la curva de frecuencia calculada, se determina el caudal de diseño; T_r es el período de retorno.

e. Otros métodos

- **Método de MAC-MATH**

$$Q = C_e P T_r A^{0.58} S^{0.42} \quad (2.7)$$

Donde: Q es la máxima avenida en m^3/seg ; C_e es el coeficiente de escorrentía; P es la precipitación máxima anual ajustado en mm; T_r es el periodo de retorno en años; A es el area de la cuenta en Km^2 ; S es la pendiente del cauce principal en %.

- **Método de TALBOT**

$$Q = 35.6K(C_1 + C_2 + C_3 + C_4)^{1/2} \quad (2.8)$$

Donde: Q es la máxima avenida en m^3/seg ; K es el coeficiente del área de la Cuenca; C_1 es el coeficiente por calidad de vegetación; C_2 es el coeficiente por pendiente de la Cuenca; C_3 es el coeficiente por geología de la Cuenca; C_4 es el coeficiente por la forma de la Cuenca; A es el área de la cuenta en Km^2 .

- **Método de ISZKOWSKI**

$$Q = m C P A^{-3} \quad (2.9)$$

Donde: Q es la máxima avenida en m³/seg; A es el área de la Cuenca en Km²; P es la precipitación total anual promedio en mm; m es el factor por el tamaño de la Cuenca; C es el coeficiente de la morfología de la Cuenca.

- **Método racional modificado**

Se calcula empleando intensidades máximas de precipitaciones diferentes períodos de retorno en función del tiempo de concentración de la Cuenca.

- Cálculo del Tiempo de Concentración

$$T_c = 0,0195 K^{0,77} \quad (2.10)$$

$$K = (L^3 H)^{1/2} \quad (2.11)$$

Donde: T_c es el tiempo de concentración; L es la longitud del cauce principal en Km; H es el desnivel en %.

- Cálculo de la Intensidad Máxima de Precipitación

$$IT_r máx = PT_r / 24 \quad (2.12)$$

Donde: T_r es el período de retorno.

- Cálculo de la descarga máxima por el método racional modificado

$$Q = 0.0283 C I A^{4/5} S^{1/5} \quad (2.13)$$

Donde: Q es la descarga máxima en m^3/s para x años; C es un factor de escorrentía de Mac-Math; L es la intensidad de lluvia en mm/hora ; A es el área de la cuenca en Km^2 ; S es la pendiente promedio del cauce principal en %.

f. Avenida de proyecto

La avenida a considerarse dentro del proyecto será la máxima, expresada en m^3/s , con la probabilidad a ser igualada o excedida en 0,005. Para un periodo de retorno determinado que permita diseñar una estructura adecuada, cuyo costo económico sea justificable comparativamente a un menor periodo, es preferible compara las alturas de muros de encauzamiento y su variación. Para obras que requieren una buena seguridad se recomienda periodos de retorno mayores a los 500 años.

g. Áreas inundables

La determinación del área inundable para una máxima avenida es muy relativa por las características del río, sobre todo debido a la variabilidad del lecho, que implica desplazamiento del flujo central. Como referencia se considera el cauce actual y a partir de éste la sección que ocuparía la máxima descarga, es recomendable efectuarlo para labores de prevención.

En la práctica, el río concentra su acción en diferentes direcciones y secciones variables, debido que presenta las orillas o riberas.

2.3.4 Hidráulica

a. Formas de encauzamiento

El sistema de encauzamiento tiene por objeto proteger áreas de cultivo, poblaciones, infraestructuras, industrias, etc, a fin de evitar el desborde del río y la erosión, ya sea por avenidas normales o extremas en función del desplazamiento del lecho del río.

Generalmente el encauzamiento es en base a material arrimado de río, revestido con roca pesada en su cara húmeda, pudiendo ser otra estructura en función a la disponibilidad de materiales, recursos económicos y cercanía a canteras, caso de gaviones, muros de concreto, etc.

b. Longitud y ubicación de encauzamiento

Considerando la protección de la zona crítica, la recuperación de áreas de cultivo que forma parte del cauce por erosión, desplazamiento, y la amplitud de cauce que permita controlar el tirante de la máxima avenida, se determina la longitud necesaria y la ubicación del encauzamiento para cubrir las necesidades actuales; se considera los puntos críticos.

Con una sección estable se puede controlar el desplazamiento del lecho del río, y para que consecuentemente se tenga el flujo central en una caja inferior y con su misma energía.

c. Sección estable de río o amplitud de cauce

Existen varios métodos de cálculo de la sección estable del lecho del río, se considera que las condiciones de los ríos, requiere una observación

directa; en tal sentido, en base a ensayos en este tipo de obras en los ríos de la costa, se puede establecer una sección representativa para el río. Siendo recomendable en condiciones de valle, verificar el ancho estable, como el caso de zonas forestadas, y en base a esto efectuar los cálculos de los otros parámetros.

Para el cálculo de la sección estable se considera la teoría del régimen estable de Blench o Altunin, empleando las relaciones:

$$B = 1,81((QF_b) / F_s)^{1/2} \quad (2.14)$$

$$H = 1,02((QF_s) / F_b^2)^{1/3} \quad (2.15)$$

$$S = (0,55F_b^{5/6} F_s^{1/12}) / ((1 + (C / 233))KD_m^{1/6}) \quad (2.16)$$

$$K = 6,6g / \gamma^{1/4} \quad (2.17)$$

Donde: D_m es el diámetro mediano; B es el ancho medio de la sección; F_b es el factor de fondo; F_b es 1,2 para material grueso; F_b es $D_m^{1/3}$ para gravas; F_s es factor de orilla; F_s es 0,2 para material ligeramente cohesivo; S es la pendiente hidráulica en %; Q es el caudal de diseño en m^3/seg ; g es la gravedad en m/s^2 ; K es un factor secundario; H es la profundidad media en m; C es la concentración de material de fondo en 10^{-5} .

También se puede emplear la fórmula de Simons y Henderson.

$$b = K1(Q)^{1/2} \quad (2.18)$$

Rangos en que se trabajan:

$$S = 0.06 - 10\% \quad (2.19)$$

$$D_m = 0.03 - 80mm \quad (2.20)$$

$$Q = 0.15 - 250m^3 / seg. \quad (2.21)$$

Tabla 5. *Valores aproximados de factor de orilla (Fs)*

Tipo de orilla	Valor de F ₁
Orilla de barro y arena	0.10
Orilla de barro –arcilla-fangosa	0.20
Orilla de material muy cohesivo	0.30

Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.35), por Terán A. Rubén

Tabla 6. *Tabla con valores de K1 para trabajar con la fórmula de Simons y Henderson*

Condiciones de Fondo de Río	K1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo de arena y orilla de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orilla de grava	2.9
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	2.8

Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.35), por Terán A. Rubén

d. Tirante de máxima avenida y altura de encauzamiento

Teniendo en consideración la avenida de diseño del proyecto, la pendiente promedio de la zona del proyecto, el coeficiente de rugosidad de Manning y la sección estable del río, se determina el tirante máximo, según la relación:

$$Q = (AR^{2/3}S^{1/2})/n \quad (2.22)$$

Donde: Q es el caudal de avenida en m³/s; A es el área de la sección en m²; R es el radio hidráulico en m; S es la pendiente del río en ‰; n es el coeficiente de rugosidad.

La altura que tendrá el dique de encauzamiento será igual al tirante máximo, más un borde libre, que se aproxima a la altura de la inercia, o energía de velocidad o carga de la misma, multiplicado por un coeficiente que está en función de la máxima descarga y pendiente del río.

$$H = h + B_L \quad (2.23)$$

$$B_L = \Phi e \quad (2.24)$$

$$e = V^2 / 2g = \left[Q^2 / (2gA^2) \right] \quad (2.25)$$

Donde: H es la altura del dique en m; h es el tirante de la máxima avenida en m; BL es el borde libre en m; V es la velocidad media del agua en m/s; g es la aceleración de la gravedad en m/s²; φ es el coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente; e es la energía de la velocidad.

El borde libre permite contralar la variación instantánea del caudal por disminución de la velocidad y elevación del tirante.

Tabla 7. *Coeficiente recomendado para calcular el borde libre del muro de encauzamiento*

Caudal Máximo m ³ /seg.	Coeficiente
3000 - 4000	2.0
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10

Datos obtenidos de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.36), por Terán A. Rubén

También se puede calcular, teniendo en consideración el perfil normal, el mismo que permita el escurrimiento de las aguas, y el transporte de acarreos. Deberá tomarse en consideración los tramos donde es río haya alcanzado su equilibrio.

Fórmula Manning Strickler:

$$V_m = K_s R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.26)$$

Donde: V_m es la velocidad media en m/s; R es el radio hidráulico en m; S es la pendiente en ‰; K_s es un coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río.

Considerando valores de acarreo para secciones anchas $b_o > 30$ m

Se tiene:

$$Q = b_o * t (K_s t^{2/3} S^{1/2}) \quad (2.27)$$

$$t = \left[Q / (K_s * b_o * S^{1/2}) \right]^{3/5} \quad (2.28)$$

e. Profundidad de socavación

Para determinar la socavación se estima que el método propuesto por L.L. List Van Lebediev, es el que más se ajusta a los trabajos ejecutados, en cauces naturales definidos. Es necesario evaluar la erosión máxima esperada, en una sección calculada para una caudal de diseño o máxima descarga.

Este método considera la velocidad erosiva, que es la velocidad media calculada capaz de degradar el fondo del río y se expresa:

$$V_e = 0,6 \gamma s^{1,18} B t_s^x \quad (2.29)$$

Esta velocidad V_e se dará cuando se efectúe contracciones en el cauce de río, para fines determinados como, construcción de puentes, defensas ribereñas, etc. Se opera con suelos cohesivos y rugosidad uniforme. A partir de la expresión indicada y considerando la sección estable y el tirante calculado, Tenemos:

$$Q = K_s \cdot b_o t^{5/3} S^{1/2} \quad (2.30)$$

Haciendo $a = K_s S^{1/2}$ (constantes)

$$Q = a b_o t^{5/3} \quad (2.31)$$

Luego

$$a = \frac{Q}{b_o t^{5/3}} \quad (2.32)$$

La velocidad V_r (Velocidad real), con la profundidad incrementada hasta t_s (tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva) disminuirá de tal forma que:

$$Q = V_r t_s b_o = a b_o t^{5/3} \quad (2.33)$$

Despejando V_r :

$$V_r = \frac{a b_o t^{5/3}}{t_s} \quad (2.34)$$

La erosión del fondo se detendrá a una profundidad que cumpla la condición:

$$V_e = V_r \quad (2.35)$$

Reemplazando valores de V_e y V_r

$$0,6\gamma_s^{1,18} B t_s x = \frac{abot^{5/3}}{t_s} \quad (2.36)$$

Despejando t_s obtenemos:

$$(\text{Suelos cohesivos}) \quad t_s = \left[(abot^{5/3}) / (0,6\gamma_s^{1,18} B) \right]^{1/(1+x)} \quad (2.37)$$

En forma similar para suelos no cohesivos

$$V_e = 0,68 D_m^{0,28} B t_s x \quad (2.38)$$

Luego:

$$t_s = \left(\frac{abot^{5/3}}{0,68 D_m^{0,28} B} \right)^{\frac{1}{x+1}} \quad (2.39)$$

Luego la profundidad de socavación será

$$H_s = t_s - t \quad (2.40)$$

Donde: V_e es la velocidad erosiva en m/s; V_r es la velocidad real en m/s; γ_s es el peso específico del suelo seco que se encuentra a la profundidad H_s en Ton/m³, B es un coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia según el efecto de erosión; Q es la descarga de diseño en m³/seg; b_o es la sección estable determinada en m; t_s es el tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva en m; t es el tirante normal en m; H_s es la profundidad de Socavación en m; X es un exponente para material no cohesivo en función del del diámetro característico; D_m es el diámetro medio en m;

Tabla 8. Coeficiente β para socavación

PROBABILIDAD ANUAL DE QUE SE PRESENTE EL CAUDAL DE DISEÑO (%)	COEFICIENTE B
00	0.77
50	0.82
20	0.86
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Datos extraídos de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.39), por Terán A. Rubén

Tabla 9. Valores de X y $1/(X+1)$

SUELOS COHESIVOS			SUELOS NO COHESIVOS		
PESO ESPECIFICO (T/M3)	X	$1/(X+1)$	D (mm)	X	$1/(X+1)$
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.83
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1 000.00	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79	0.70		

Documento hallado y recogido en la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.40), por Terán A. Rubé

2.3.5 Topografía

a. Levantamiento topográfico en coordenadas

Las coordenadas son las distancias “X” e “Y” medidas a partir de un par de ejes. La coordenada “Y” se llama coordenada Norte y la “X” se llama coordenada Este. Cuando se da la coordenada Norte y Este, de un punto, queda determinado el sistema de coordenadas rectangulares a partir de ello se puede establecer una cuadrícula rectangular.

Tabla 10. Pesos específicos y ángulos de fricción de suelos

CLASE DE TERRENO	$\gamma_s(\text{Ton/m}^3)$	α
Tierra de terraplén seca	1,40	37°
Tierra de terraplén húmeda	1,60	45°
Tierra de terraplén empapada	1,80	30°
Area seca	1,60	33°
Area húmeda	1,80	40°
Arena empapada	2,00	25°
Legamo diluvial seco	1,50	43°
Légamo diluvial húmedo	1,90	20°
Arcilla seca	1,60	45°
Arcilla húmeda	2,00	22°
Gravilla seca	1,83	37°
Gravilla húmeda	1,86	25°
Grava de cantos vivos	1,80	45°
Grava de cantos rodados	1,80	30°

Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.41), por Terán A. Rubén
 α son los valores medios de ángulos de fricción del suelo.
 γ_s son los valores medios de peso específico del suelo.

En los levantamientos topográficos efectuados con coordenadas absolutas, es fácil localizar un punto específico en un plano, asimismo el replanteo correspondiente para ubicar y definir el proyecto de construcción, como se muestra en la figura 20.A.

Es conveniente tomar los detalles del río así como las variaciones del lecho. Deberá de considerarse ambas márgenes del río, su colindancia con las áreas agrícolas afectadas y sujetas a erosión, centros poblados, los servicios, etc. En el trabajo de gabinete se procede a efectuar el dibujo y de acuerdo a los cálculos hidrológicos e hidráulicos, se fija el eje central y la amplitud del cauce, lo que permitirá determinar las áreas a proteger en forma directa, áreas a recuperar y áreas a ganar a la caja del río, así como la ubicación de los muros de encauzamiento.

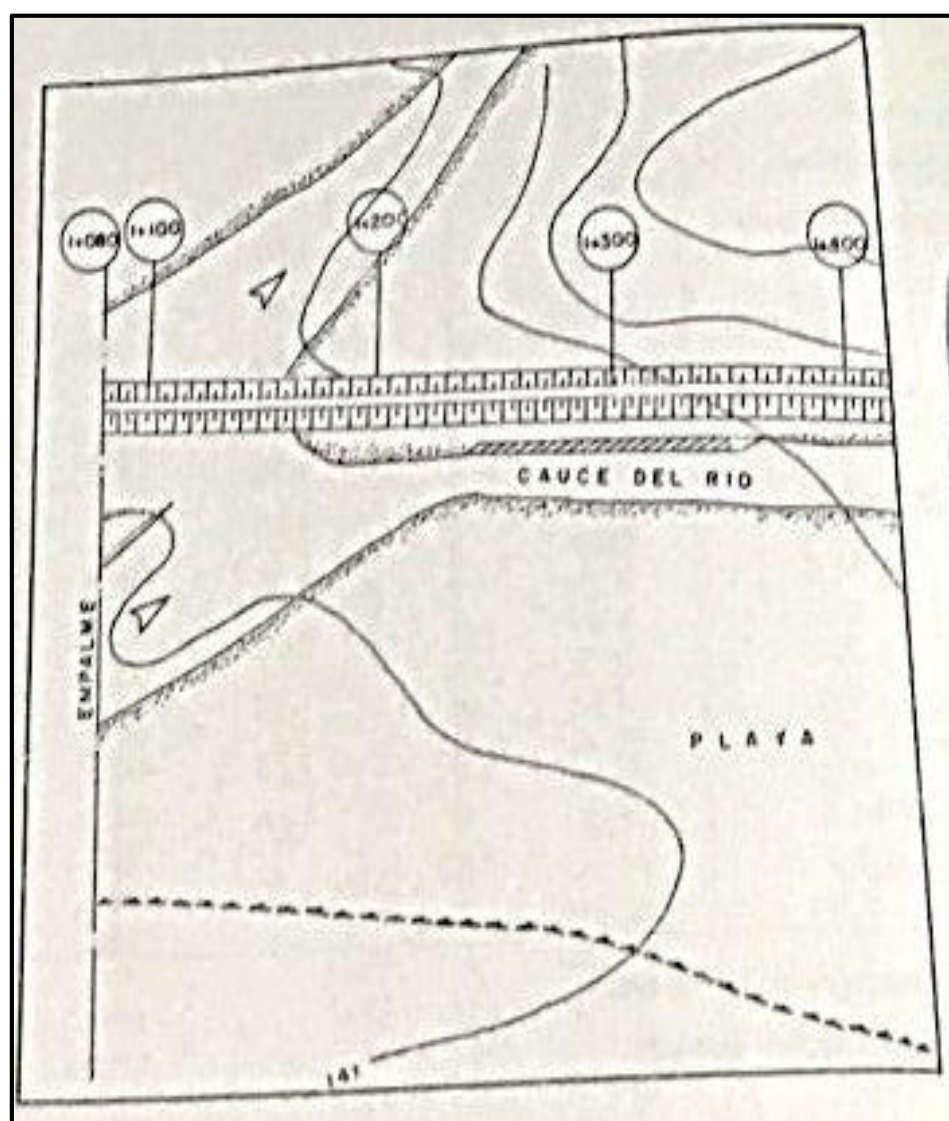


Figura 25. *Plano de planta de zona a proteger*

Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.42), por Terán A. Rubén

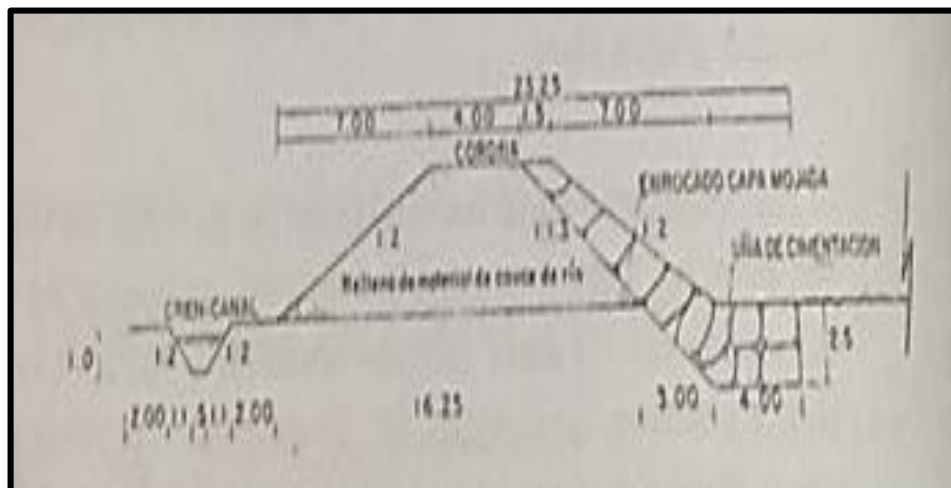


Figura 26. *Sección típica*

Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.42), por Terán A. Rubén

b. Secciones transversales

Una vez definido el eje principal de diseño en gabinete, se procede en el campo a efectuar secciones transversales cada 20 m, y a ambos lados del eje, de acuerdo a los requerimientos y consideraciones topográficas del terreno, a fin de determinar áreas de corte y relleno. Se recomienda tomar el área afectada en ambas márgenes, como se muestra en la figura 22, así como, tener en consideración el área inundable para la máxima avenida, cada 100 m.

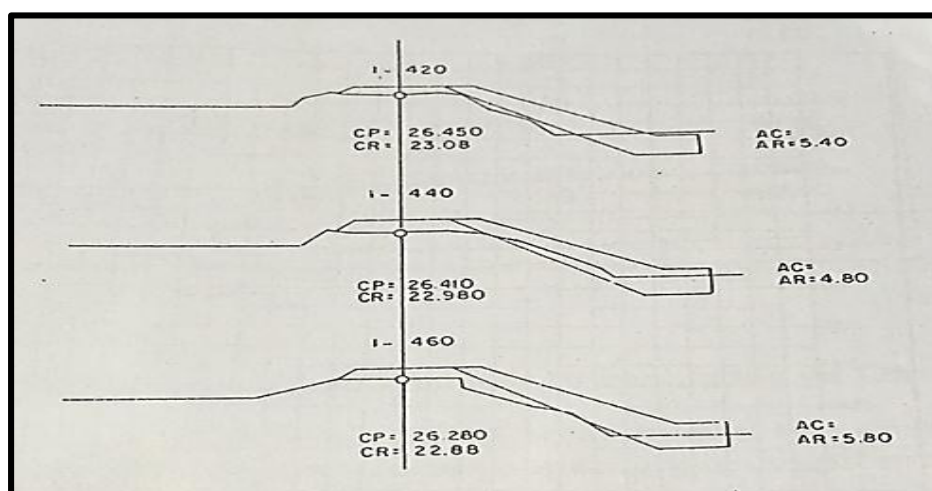


Figura 27. *Secciones transversales*

Fuente: Escuela Superior de Administración de Aguas (p.43), por Terán A. Rubén

c. Perfil longitudinal

Teniendo la progresiva inicial y final del proyecto, se define el perfil longitudinal trazando la rasante diseñada, con la pendiente adecuada; tomando en cuenta el acotamiento tanto de la uña de estabilidad, la cota de coronación, la cota de fondo cada 20 m, como se muestra en la figura 23.

d. Red de bases marcadas (B.M.).

La nivelación de la red de bases marcadas (B.M.) se debe materializar debidamente, empotrándolas en lugares adecuados y seguros, de tal forma que sirvan de base para futuros trabajos topográficos; asimismo las estaciones de las poligonales deben ser niveladas altimétricamente, a fin de tener cotas reales.

e. Planilla de movimiento de tierras

Definidas las áreas de corte y relleno de cada sección y las distancias equidistantes, se procede a confeccionar la planilla de movimiento de tierras, que establece los volúmenes de corte y relleno para cada progresiva (Cuadro N° 9).

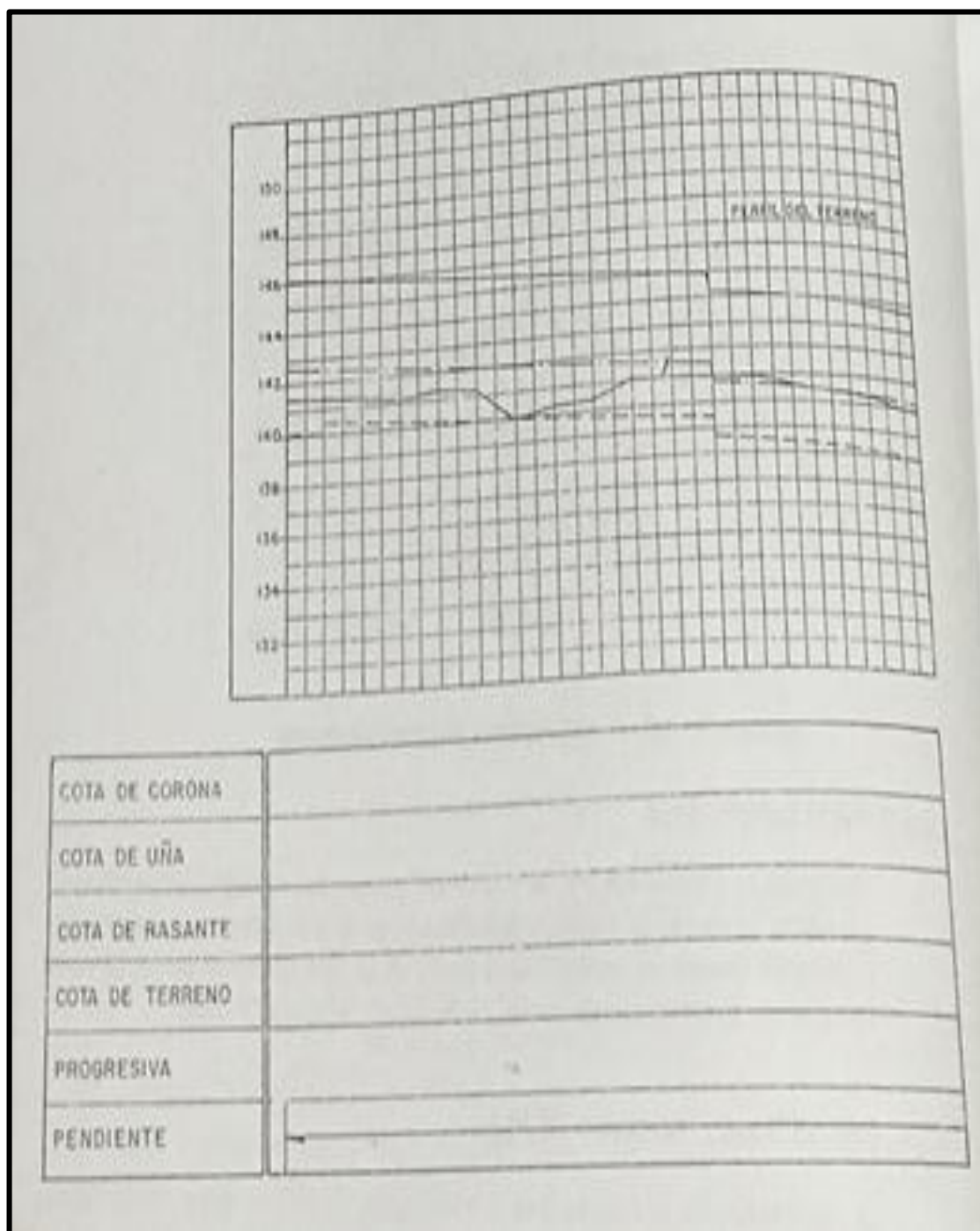


Figura 28. Perfiles longitudinales.

Gráfico correspondiente de la Escuela Superior de Administración de Aguas (p.44), por Terán A. Rubén

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. CONDICIONES INICIALES

En base a la evaluación de hidráulica fluvial y transporte de sedimentos, así como las conclusiones formuladas por el estudio geológico, se puede caracterizar el sector de Chejava y su río Ilabaya como un cauce competente, que arrastra gran cantidad de material detrítico en época de lluvias, y que discurre por terrazas fluvio-aluviales angostas y de baja altitudes, constituidas por depósitos detríticos inconsolidados, de baja resistencia y fácil erosión. En el trabajo de campo se evidenció que las márgenes son erosionadas por la acción dinámica del río, particularmente en época de crecidas. De hecho, en periodos de lluvias el caudal del río Ilabaya se incrementa en tal cantidad que supera la capacidad de conducción del cauce fluvial, desbordando e inundando zonas planas, tramos de baja pendiente y sectores estrangulados.

El encauzamiento y la construcción de obras de defensas ribereñas deben de ir ligado a la limpieza y reacomodo del material detrítico presente en el lecho del cauce y a la formación de defensas vivas con árboles y arbustos nativos.

Los criterios de diseño utilizados han sido extraídos de las normas y recomendaciones técnicas internacionales, aceptadas para determinar el ancho mínimo estable del cauce del río, así como de las revistas técnicas especializadas y los conocimientos obtenidos en la Escuela de Ingeniería Mecánica de Fluidos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3.2. DATOS INICIALES

- El caudal de máxima avenida es de $41.8 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El periodo de retorno es de 50 años.
- El tramo en evaluar es de 4,400 m de longitud del río.
- El material del río es granular grueso con gravas y piedras.
- Consideramos el fondo y orillas con material grueso no cohesivo.
- El diámetro medio de la partícula es de 20 mm
- Aceleración de la gravedad es de 9.81 m/s^2
- Peso específico de la cantera 2.6
- Factor de orilla F_s igual a 0.2
- Factor de fondo para material grueso igual a 1.2
- Peso específico del agua igual a 1,033
- Valor medio del peso específico del suelo igual a 1.8 Ton/m^3

3.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Calcularemos en primer lugar la sección estable del cauce, utilizando los métodos de BLENCH – ALTUNIN y SIMONS y ALBERTSON.

Luego estimaremos el tirante de máxima avenida, utilizando las fórmulas convencionales de Manning y la profundidad media de la sección.

Para determinar la profundidad de socavación emplearemos el método de L.L. List Van Lebediev, que es el que mejor se ajusta a cauces naturales definidos.

Finalmente se calcula la altura del muro, incluyendo el borde libre.

3.4. CÁLCULOS DE INGENIERÍA

3.4.1. Cálculo de la sección estable o amplitud de cauce.

a) Empleando las ecuaciones del régimen estable de BLENCH-ALTUNIN

- Para el caso $D_{50}=20\text{mm}$.

Procedemos al cálculo del factor de fondo

$$F_{bo} = (D_{50})^{1/3}$$

$$F_{bo} = 20^{1/3}$$

$$F_{bo} = 2.714$$

$$F_b = F_{bo}(1 + 0.12C)$$

$$F_b = 1.709(1 + 0.12 * 5)$$

$$F_b = 4.34$$

El ancho estable es:

$$B = 1.81(Qx F_b / F_s)^{1/2}$$

Para un factor de orilla $F_s=0.2$

Se tiene

$$B = 1.81(41.8 * 4.34 / 0.2)^{1/2}$$

$$B = 55m$$

b) Empleando la fórmula de SIMONS y ALBERTSON

$K_1= 3.8$, para fondos y orillas de grava

$$B = K_1(Q)^{1/2}$$

$$B = 3.8(41.8)^{1/2}$$

$$B = 25m$$

En base a los cálculos efectuados se puede indicar que la fórmula de SIMONS se ajusta más a los trabajos realizados en el área de estudio.

3.4.2. Profundidad media

$$H = 1.02 \left[(Qx Fs) / Fb^2 \right]^{1/3}$$

$$H = 1.02 \left[\frac{(41.8 * 0.2)}{4.34^2} \right]^{1/3}$$

$$H = 0.8m$$

3.4.3. La pendiente hidráulica

Para las condiciones del río y las características del material y aplicando la fórmula se tiene:

$$S = (0.55 Fb^{5/6} Fs^{1/12}) / \left[(1C / 233) KQ^{1/6} \right]$$

Para C=500, siendo:

$$K = 6.6g / \gamma^{1/4}$$

$$K = \frac{6.6 * 9.81}{(1,033)^{1/4}} =$$

$$K = 11.42$$

Remplazando estos valores en la fórmula se obtiene:

$$S = \left[0.55x4.34^{5/6} x(0.2)^{1/12} \right] / \left[(1 + 500 / 233) 11.42 * 2400^{1/6} \right]$$

$$S = \frac{0.55x4.34^{5/6} x0.2^{1/12}}{\left(1x\frac{500}{233} \right) x11.42x41.8^{1/6}}$$

$$S = 0.024$$

3.4.4. Cálculo de la profundidad de socavación

a) Suelo Cohesivo

Teniendo en cuenta la relación:

$$t = \left[Q / (K_s b_o S^{1/2}) \right]^{3/5}$$

$$t = \left[\frac{41.8}{22 \times 25 \times 0.024^{1/2}} \right]^{3/5}$$

$$t = 0.66m$$

Ahora:

$$a = \frac{Q}{t^{5/3} b_o}$$

$$a = \frac{41.8}{0.66^{5/3} \times 25}$$

$$a = 3.44$$

Aplicando la fórmula para el suelo cohesivo, se obtienen los datos de las tablas y cuadros siguientes:

$$ts = \left[\frac{at^{5/3}}{0.6\gamma^{1.18} B} \right]^{1/1+x}$$

$$a=3.44, b_o=25, t=0.66, \gamma_s=1.80; B=0.82 \quad 1/1+x=0.78$$

$$ts = \left[\frac{3.44 \times 0.66^{5/3}}{0.6 \times 1.80^{1.18} \times 0.82} \right]^{0.78}$$

$$ts = 1.53m$$

Luego la profundidad es:

$$H_s = ts - t$$

$$H_s = 1.53 - 0.66$$

$$H_s = 0.88$$

3.4.5. Profundidad de la uña

Se asume que el material de fondo de río al pie de la estructura ha sido reemplazada por roca suelta, caso granito cuyo peso específico es 2.60 Tm/m^3 , $X=0.25$, la misma que ha sido colocada sobre el fondo del río, lo que permite reducir la profundidad de socavación.

Se calcula el valor de t_s

$$t_s = \left[\frac{at^{5/3}}{0.6\gamma^{1.18}B} \right]^{1/(1+X)}$$

$$t_s = \left[\frac{3.44 \times 0.66^{5/3}}{0.6 \times 2.6^{1.18} \times 0.82} \right]^{0.78}$$

$$t_s = 1.09$$

La profundidad de la uña es: *Puña*

$$Puña = t_s - t$$

$$Puña = 1.09 - 0.66$$

$$Puña = 0.44m$$

$$Auña = 1.5Puña$$

$$Auña = 1.5 \times 0.44 = 0.66m$$

Ancho de la uña: *Auña*

3.4.6. Cálculo de la altura del muro

La altura del muro es:

$$Hm = t + B_L$$

EL borde libre es:

$$B_L = \Phi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Φ coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente.

Luego

$$B_L = 1.70 \left(\frac{3.90^2}{19.62} \right)$$

$$B = 1.70 \left(\frac{2.60}{2 \times 9.81} \right)^2$$

$$B_L = 0.58m$$

$$Hm = 0.66 + 0.58$$

$$Hm = 1.24$$

3.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La sección estable o amplitud de cause es de 25.00 m, obtenido con la fórmula de SIMONS, que se adecua más a las labores operadas en la zona.

La profundidad para la estructura es de 0.8 m

La pendiente hidráulica es de 0.024

La profundidad de socavación es de 0.88 m

La profundidad de la uña es de 0.44

El ancho es de 0.66 m

La altura total del muro es de 1.24

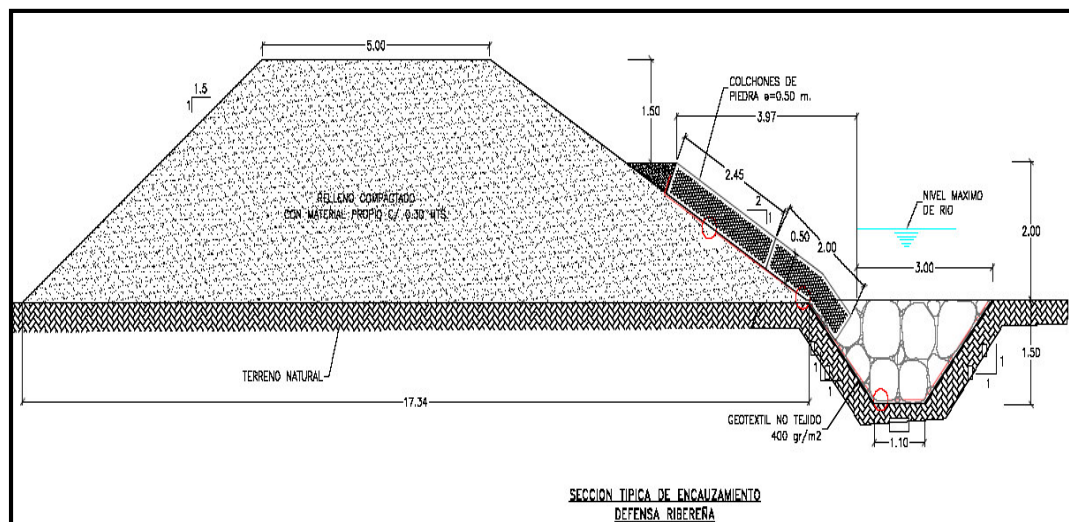


Figura 24. Sección típica (elaboración propia)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se ha diseñado la defensa ribereña en el río Ilabaya, ubicado en el departamento de Tacna.
- La sección estable de cauce del río es de 25m
- La pendiente hidráulica es de 0.024
- La profundidad de socavación es de 0.88 m
- La profundidad de la uña es de 0.44
- La altura del muro es de 1.24 m

Recomendaciones

- ✓ Para el cálculo de la sección estable se evaluarón varios metodos, siendo el más recomendable el que se adecua a la zona en estudio.
- ✓ Se debe de tener cuidado en el cálculo de la profundidad de socavación, dado que depende de parámetros obtenidos por tablas.
- ✓ Evaluar el tipo de prevención, antes de iniciar los cálculos de las defensas ribereñas.

Bibliografía

- Colegio de Ingenieros del Perú (1972), *Conclusiones y recomendaciones del simposio sobre deslizamientos e inundaciones*.
- Corporacion de Desarrollo Tecnologico. (2004). *Estructuras de contención en Gaviones*. 1era Edicion.
- Facultad de Ingenieria Civil. (2003). *Diseño de defensas ribereñas*. 1era Edicion.
- Gonzales, M. & Garcia, D. (2001). *Restauracion de ríos y riberas*. Madrid: Joyra
- Rocha, A. (1990). *Transporte de sedimentos aplicado al diseño de estructuras hidráulicas*. Lima: Cip.
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Uni.
- Serruto, A. (1917). *Prevencion de huaycos e inundaciones*. Lima: Unisanmarcos.
- Terán, R. (1998). *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Escuela Superior de Aguas "CHARLES SUTTON".
- Ven, C. (1983). *Hidraulica de los canales abiertos*. México Mc Graw-Hill.